# Céus de Precisão

## Desvendando os Desafios do GNSS na Aviação Brasileira

Baseado na pesquisa de Larissa Moreira Pinho,
Universidade Federal do Paraná (UFPR)

NotebookLM

# A Navegação Aérea Deixou de Olhar para o Chão para Mirar os Céus

**Passado:**
**Navegação Convencional**

- Baseada em auxílios de rádio em solo (VOR, DME, NDB).
- Rotas fixas e segmentadas, “voando de estação em estação”.
- Alta dependência de infraestrutura terrestre com alto custo de manutenção.

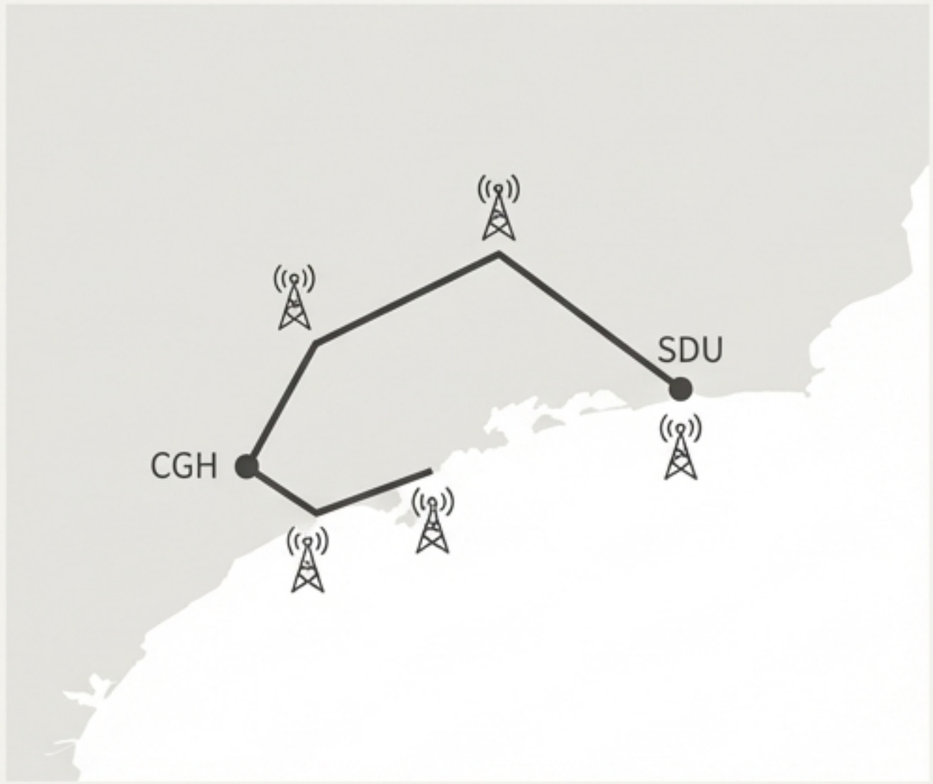
Estamos migrando de um sistema rígido, baseado em **infraestrutura terrestre**, para um sistema **flexível e otimizado**, guiado por **satélites**.

**Presente/Futuro: Navegação por Performance - PBN**

- Guiada por sistemas de satélites (GNSS).
- Rotas diretas e otimizadas (RNAV/RNP) com trajetórias flexíveis.
- Maior eficiência, capacidade e segurança.

NotebookLM

# A Promessa do PBN se Traduz em Eficiência Operacional e Segurança




Navegação Convencional

Menor consumo de combustível

Menor tempo de voo

Maior capacidade do espaço aéreo

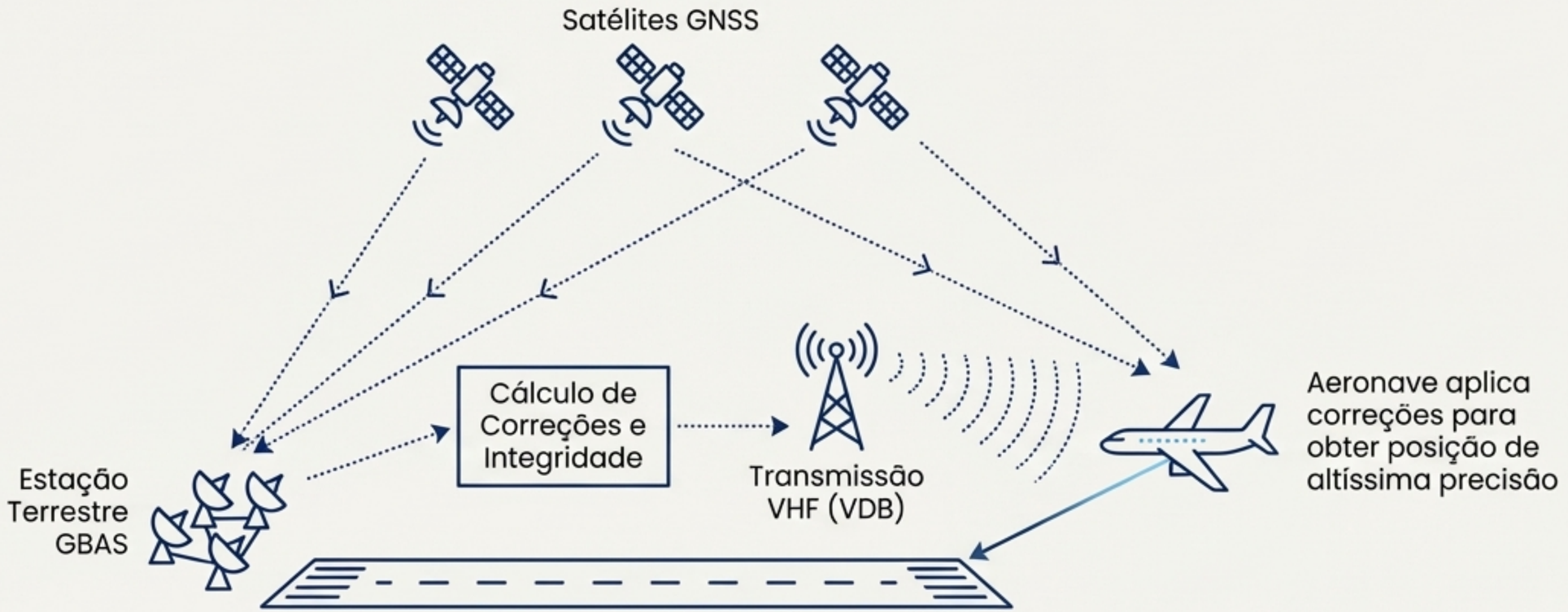
Maior segurança e precisão

Navegação por Performance (RNAV/RNP)

NotebookLM

# O Próximo Passo é o Pouso de Precisão com GBAS

GBAS (Ground Based Augmentation System) utiliza o sinal GNSS para guiar pousos de precisão, superando as limitações do sistema ILS tradicional.


Satélites GNSS
Cálculo de Correções e Integridade
Transmissão VHF (VDB)
Aeronave aplica correções para obter posição de altíssima precisão
Estação Terrestre GBAS

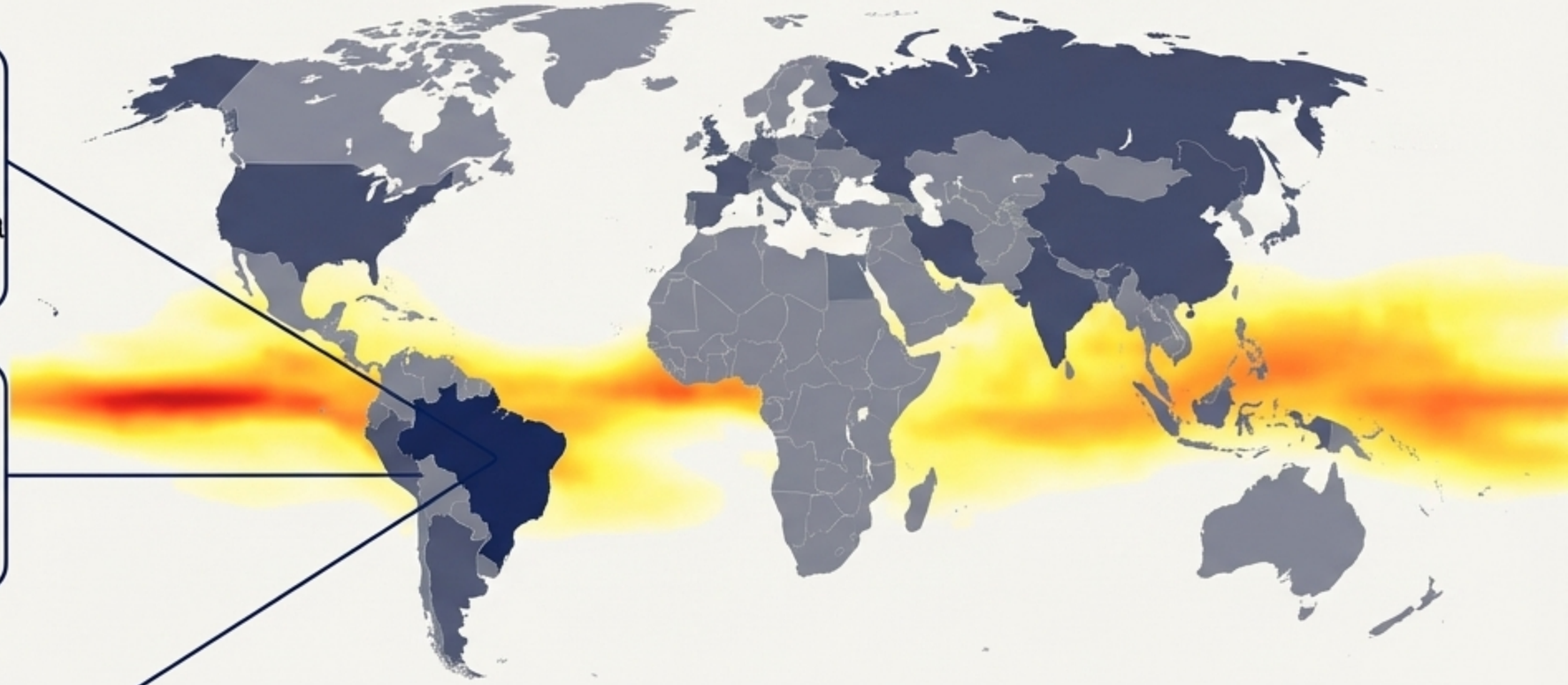
Diferente do ILS, que exige um transmissor para cada cabeceira de pista, um único sistema GBAS oferece múltiplos procedimentos de pouso de precisão para todas as pistas de um aeroporto.

NotebookLM

# O Grande Desafio Brasileiro: A Instabilidade da Ionosfera Equatorial

**Posição Geográfica Crítica:** Grande parte do Brasil está sob a influência da anomalia equatorial da ionosfera, uma área de intensa atividade.

**Fenômenos Extremos:** A alta radiação solar nesta região gera irregularidades como "bolhas de plasma" e cintilação ionosférica.



**O Impacto Direto:** Esses fenômenos degradam os sinais GNSS, causando erros de posicionamento e, mais criticamente, ameaçando a **integridade** da informação — um requisito inegociável para pousos de precisão com GBAS.

NotebookLM

## A Pergunta que Guiou a Pesquisa

# Como garantir a precisão e a Como garantir a precisão e a integridade do posicionamento GNSS para in um ambiente ionosférico tão adverso quanto o brasileiro?

Para responder a esta pergunta, um voo experimental foi conduzido para avaliar, em condições reais, diferentes estratégias de processamento de dados GNSS e sua eficácia em mitigar os efeitos ionosféricos.

NotebookLM

# O Laboratório no Céu: Detalhes do Voo Experimental

**Local do Voo:**
Proximidades do Aeródromo de Gavião Peixoto (SBGP), SP.

**Estação Base de Referência:**
Estação SPJA da RBMC (IBGE), localizada em Jaboticabal.

**Aeronave:**
Embraer Legacy, equipada com receptor GNSS de alta performance.

**Software de Análise:**
RTKLIB v.2.4.3 (software de código aberto para processamento GNSS).

**Receptor a Bordo:**
Trimble NETR8.

**Data do Voo:**
01 de junho de 2017.

NotebookLM

# Três Estratégias de Posicionamento sob Análise

## DGPS (Diferencial)

**Conceito:** Simula o posicionamento em tempo real. Utiliza correções de uma estação base com coordenadas conhecidas (SPJA) para mitigar erros comuns. É a base da arquitetura GBAS.

## PPP (Ponto Preciso)

**Conceito:** Não necessita de uma base local. Utiliza correções precisas de órbita e relógio dos satélites (produtos IGS) para obter alta acurácia de forma autônoma.

## Relativo Cinemático

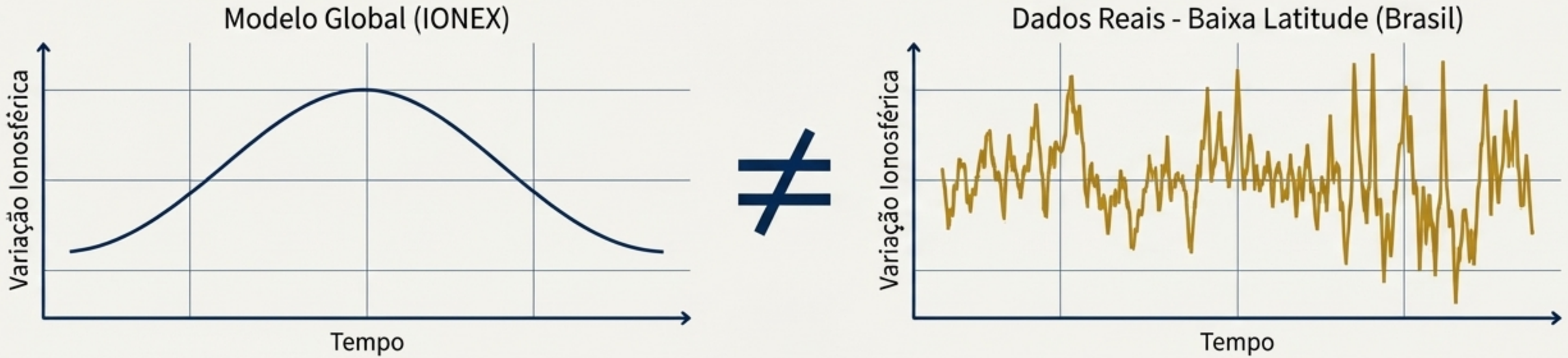
**Conceito:** Método pós-processado de altíssima precisão. Utiliza dados simultâneos da aeronave e da estação base para gerar a trajetória de referência (“valor verdadeiro”) para comparação de acurácia.

Para cada método, a variável crítica avaliada foi a estratégia de correção da ionosfera: usando um modelo global (IONEX), a combinação *iono-free* (para dupla frequência) ou nenhuma correção.

NotebookLM

# Descoberta 1: Modelos Globais de Ionosfera São Insuficientes para a Realidade Brasileira

O modelo de correção ionosférica global (IONEX TEC do IGS), ao ser aplicado nos processamentos, consistentemente não demonstrou eficácia ou, em alguns casos, degradou a precisão da solução em comparação com outras estratégias.



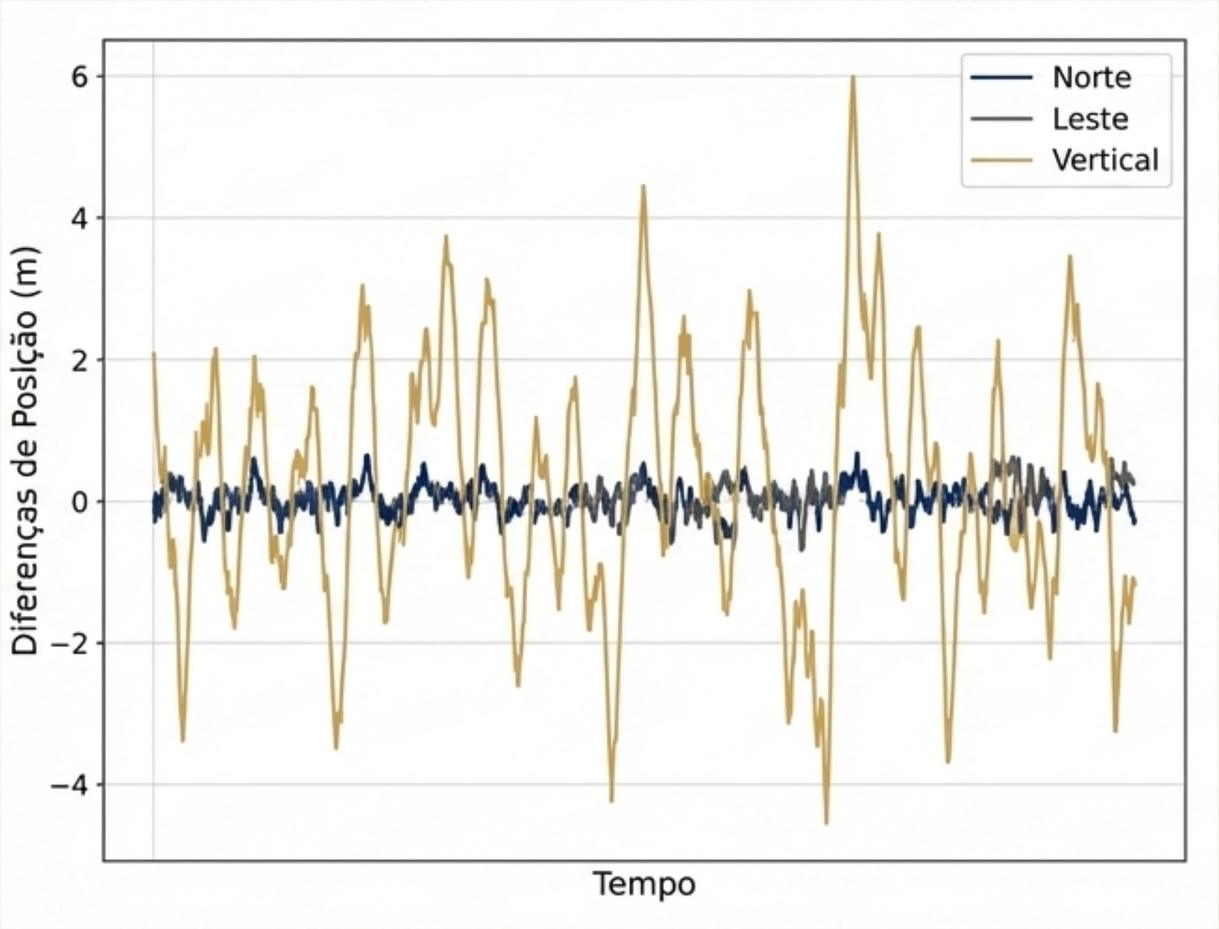

## Implicação Estratégica

A conclusão é clara: soluções de navegação ‘prontas’ ou ‘universais’ não são adequadas para as condições ionosféricas do Brasil. O desenvolvimento de modelos regionais e estratégias de mitigação locais é imperativo.

NotebookLM

# Descoberta 2: Acurácia do DGPS se Aproxima da Referência Pós-Processada, Mas o Desafio Vertical Permanece

Comparou-se a solução DGPS (simulando tempo real) com a solução Relativa Cinemática (referência de maior precisão).




### Planimetria (Componentes Norte/Leste)

## RMSE: ~35 cm

**Insight:** Resultados altamente coerentes, demonstrando que o DGPS pode fornecer uma acurácia horizontal robusta, mesmo em um ambiente desafiador.

### Altimetria (Componente Vertical)

## RMSE: ~87 cm

**Insight:** A maior discrepância está na componente vertical. Este é o desafio crítico a ser superado, pois a navegação vertical precisa é fundamental para a segurança dos pousos de precisão (GLS).

NotebookLM

# Conclusões da Pesquisa: O Caminho para a Precisão no Brasil

## SOLUÇÕES LOCAIS SÃO IMPERATIVAS

A ionosfera brasileira possui uma dinâmica única que os modelos globais não capturam. A certificação de sistemas como o GBAS dependerá de estratégias de mitigação e modelos desenvolvidos especificamente para as nossas condições de baixa latitude.

## O POTENCIAL DO DGPS É PROMISSOR

O método DGPS, mesmo em simulação de tempo real e com os desafios ionosféricos, demonstrou acurácia e robustez notáveis, provando ser uma base viável e promissora para sistemas de aumento como o GBAS no Brasil.

## O DESAFIO VERTICAL É O FOCO

A precisão da componente vertical continua sendo o principal obstáculo técnico. Superar a discrepância de ~87 cm é o passo crucial para garantir a integridade e a segurança necessárias para operações de pouso de precisão Categoria I e superiores.

NotebookLM

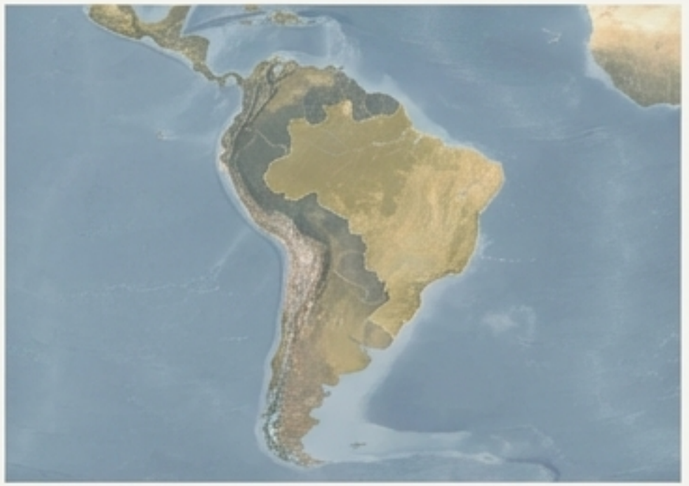
# O Impacto Direto para a Aviação Brasileira

## Viabilizando a Certificação do GBAS

Esta pesquisa fornece dados e insights fundamentais para validar o desempenho e acelerar a certificação da estação GBAS já instalada no Aeroporto do Galeão, destravando seu potencial operacional.

## Aumentando a Confiabilidade do RNP-AR

Uma melhor compreensão e mitigação dos erros ionosféricos aumenta a confiabilidade e a segurança de procedimentos avançados como o RNP-AR, já em uso em aeroportos com terrenos desafiadores como o Santos Dumont.



## Consolidando a Liderança Tecnológica

O Brasil é pioneiro no estudo do impacto ionosférico em GNSS. Continuar esta linha de pesquisa solidifica a liderança do país no desenvolvimento de soluções de navegação aérea para todas as regiões equatoriais do mundo.

NotebookLM

# Sobre a Pesquisa e os Colaboradores

**Título Original do Trabalho:** Uso do GNSS na Aviação Civil: Avaliação de Diferentes Estratégias de Processamento nas Fases de Navegação, Aproximação e Pouso das Aeronaves

**Autora:** Larissa Moreira Pinho

**Instituição:** Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura

**Orientadores:** Prof. Dr. Paulo Sergio de Oliveira Junior
Profa. Dra. Cláudia Pereira Krueger

**Agradecimentos Especiais pela Cessão de Dados e Apoio:**
Prof. João Francisco Galera Monico (UNESP)
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia: Tecnologia GNSS no Suporte à Navegação Aérea (INCT GNSS-NavAer)

NotebookLM